

Метрологічне забезпечення вимірювачів показників якості електричної енергії

Анікін В.В., Гриб О.Г., д.т.н., проф., Колбасін О.І., к.т.н., доц.,

Михайлов В.П., Натарова І.Г.

Харківська національна академія міського господарства

Для вимірювання показників якості електричної енергії в Україні діє досить широка номенклатура засобів вимірювань різних виробників (фірми Fluke, METREL, НПП "Энерготехника", ООО "Парма" та інш.). Це обумовлює необхідність оптимального їх вибору.

В Україні діє міждержавний стандарт ГОСТ 13109-97 з 1.01.2000 р. В ньому встановлені вимоги до наступних показників якості електричної енергії в мережах загального користування:

- стале відхилення напруги;
- розмах змінення напруги;
- доза флікера;
- коефіцієнт спотворення синусоїдності кривої напруги;
- коефіцієнт n-й гармонійної складової напруги;
- коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності;
- коефіцієнт несиметрії напруги по нульовій послідовності;
- відхилення частоти
- тривалість і глибина провалу напруги;
- імпульсна напруга;
- коефіцієнт тимчасової перенапруги.

З точки зору метрологічних характеристик границі допустимих похибок вимірювань показників якості електричної енергії (ПЯЕЕ) повинні бути не гірше норм, наведених в ГОСТ 13109, пункти 7.1 и 7.2.

Окрім наведених величин багато сучасних вимірювачів мають функції вимірювання усіх (або частини з них) наведених показників для сили струму.

Вищенаведені показники якості можна звести до наступних величин, для

яких створені повірочні схеми:

- напруга змінного струму (одиниця вимірювання - Вольт);
- сила змінного струму (одиниця вимірювання - Ампер);
- коефіцієнт гармонік (одиниця вимірювання - %);
- час або частота (одиниця вимірювання - секунда або Герць, відповідно);
- фазовий зсув (одиниця вимірювання - градус або радіан).

Остання величина явно не присутня в показниках якості, однак від неї залежить величина коефіцієнтів несиметрії. Крім того, фазовий зсув відіграє важливу роль при визначенні активної та реактивної енергії.

Слід відзначити, що відповідні еталонні засоби вимірювань перелічених фізичних величин (окрім коефіцієнту гармонік) напряму не можуть застосовуватись для перевірки усіх метрологічних характеристик вимірювачів показників якості, бо вони розраховані для роботи в умовах стандартних (синусоїдальних) сигналів.

Тому для метрологічного забезпечення вимірювачів ПЯЕЕ створені спеціальні засоби вимірювальної техніки - калібратори змінної напруги та струму, які є джерелом трифазної системи напруг та струмів. Зазвичай усі джерела фазних напруг та струмів є окремими друг від друга та мають незалежні регулювання як значень напруг (струмів), так і фазних співвідношень між ними.

Крім того відтворювані напруги та струми можуть мати складний (до того ж регульований) спектральний состав - до сорока або більше гармонік.

З часової точки зору деякі сигнали є або імпульсними (які імітують роботу тиристорних перетворювачів), або амплітудно-модульованими.

Приклади таких складних сигналів наведено на рис. 1-4.

Калібратори дають змогу відтворювати складні сигнали з нормованим значенням показників якості. Це спрощує перевірку вимірювачів ПЯЕЕ і дозволяє проводити перевірку в автоматизованому режимі.

Як приклад, в табл. 1 наведено деякі метрологічні характеристики калібратора змінної напруги та струму типу "РЕСУРС-K2".

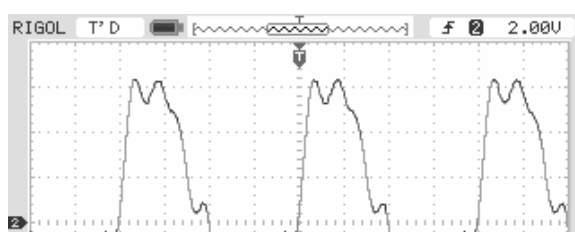
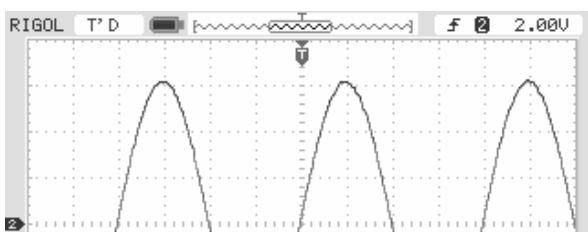


Рис. 1 - Синусоїдний сигнал з мінімальним вмістом вищих гармонік

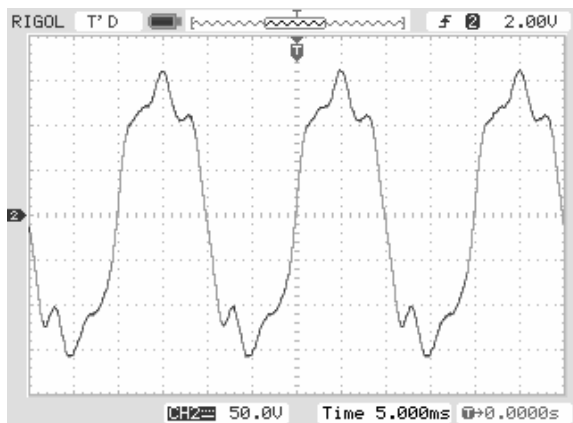


Рис. 2 - Синусоїдний сигнал 1 з суттєвим вкладом вищих гармонік

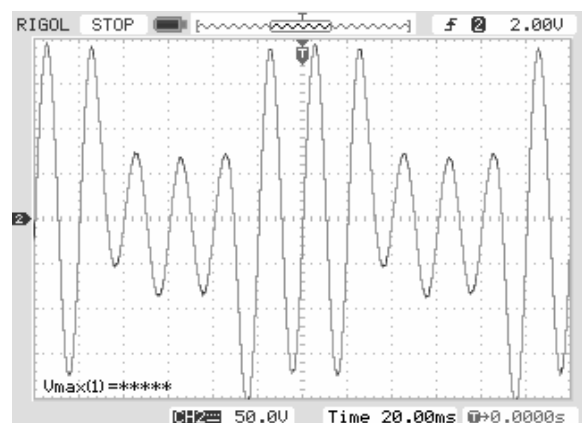


Рис. 3 - Синусоїдний сигнал 2 з суттєвим вкладом вищих гармонік

Рис. 4 - Сигнал, що імітує наявність провалів напруги

Таблица 1 – Метрологічні характеристики каліброватора "РЕСУРС-К2"

Характеристика выходного сигнала	Диапазон значений или характеристики	Предел основной по- грешности (абсолютной Δ ; относительной δ , %)	Дополнительные условия
Характеристики сигналов в каналах напряжения			
1 Действующее значение фазного напряжения U , В	(0,01 – 1,44) $U_{ном.ф.}$	$\pm(0,05 + 0,01 \times$ $\times (U_{ном.ф.}/U - 1))$ (Б)	–
2 Частота f , Гц	45 – 55	$\pm 0,005$ (А)	–
3 Фазовый угол между фазными на- пряжениями основной частоты φ_U	от минус 180° до плюс 180°	$\pm 0,03^\circ$ (А)	$0,7 \cdot U_{ном.ф.} \leq U < 1,4 \cdot U_{ном.ф.}$
Характеристики несинусоидальности сигналов в каналах напряжения			
4 Коэффициент искажения синусоидальности напряжения при формировании синусоидального выходного напряжения K_U , %, не более	0,01		$0,7 \cdot U_{ном.ф.} \leq U < 1,4 \cdot U_{ном.ф.}$ $K_{Umax} = 30$
5 Коэффициент искажения синусоидальности напряжения K_U , %	0,1 – 30	$\pm(0,3 + 0,03 \cdot (K_{Umax}/K_U - 1))$ (Б)	$0,7 \cdot U_{ном.ф.} \leq U < 1,4 \cdot U_{ном.ф.}$ $K_{Umax} = 30$
6 Коэффициент n -ой ¹⁾ гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$, %	0,05 – 30	$\pm(0,25 + 0,025 \cdot (K_{U(n)max}/K_{U(n)} - 1))$ (Б)	$0,7 \cdot U_{ном.ф.} \leq U < 1,4 \cdot U_{ном.ф.}$ $K_{U(n)max} = 30$
7 Фазовый угол между первой и n - ой гармонической составляющей фазного напряжения $\varphi_{U(n)}$ ²⁾	от минус 180° до плюс 180°	$\pm 0,1^\circ$ (А)	$0,7 \cdot U_{ном.ф.} \leq U < 1,4 \cdot U_{ном.ф.}$ $0,2\% \leq K_{U(n)}$
Характеристики несимметрии в каналах напряжений			
8 Коэффициент несимметрии на- пряжений по обратной последова- тельности K_{U1} , %	0 – 30	$\pm 0,1$ (А)	$0,7 \cdot U_{ном.ф.} \leq U < 1,4 \cdot U_{ном.ф.}$
9 Коэффициент несимметрии на- пряжений по нулевой последова- тельности K_{U0} , %	0 – 30	$\pm 0,1$ (А)	$0,7 \cdot U_{ном.ф.} \leq U < 1,4 \cdot U_{ном.ф.}$
Характеристики провалов, перенапряжений и колебаний напряжений			
10 Длительность провала напряже- ния $\Delta t_{пр}$, с	0,01 – 60	$\pm 0,001$ (А)	–
11 Длительность временного пере- напряжения $\Delta t_{пер.г.}$, с	0,01 – 60	$\pm 0,001$ (А)	–
12 Глубина провала напряжения δU_k , %	10 – 100	$\pm 0,3$ (А)	–
13 Коэффициент временного пере- напряжения $K_{пер.г.}$	1,1 – 1,4	$\pm 0,003$ (А)	–
14 Размах изменения напряжения δU_k , %	0 – 20	$\pm 0,3$ (А)	–

Характеристика выходного сигнала	Диапазон значений или характеристики	Предел основной по- грешности (абсолютной Δ ; относительной δ , %)	Дополнительные условия
15 Интервал времени между изме- нениями напряжения $t_{изм.}$, с	0,04 – 600	$\pm 0,01$ (А)	–
16 Кратковременная $P_{кр}$ и длите- льная $\delta P_{кр}$ доза фликера	0 – 3	1% (Б)	–
Характеристики сигналов в каналах тока			
17 Действующее значение силы тока I , А	(0,001 – 1,5) $I_{ном}$	$\pm(0,05 + 0,01 \cdot (I_{ном}/I - 1))$ (Б)	$I_{ном} = 5$ (для 1I) $I_{ном} = 1$ (для 2I)
18 Коэффициент искажения синусоидальности тока при формирова- нии синусоидального выходного сигнала K_I , %, не более	0,05		$0,5 \cdot I_{ном} \leq I < 1,5 \cdot I_{ном}$
19 Коэффициент искажения синусоидальности сигнала K_I , %	0,1 – 100	$\pm(0,3 + 0,01 \cdot (K_{Imax}/K_I - 1))$ (Б)	$0,1 \cdot I_{ном} \leq I < 1,5 \cdot I_{ном}$
20 Коэффициент n -ой ¹⁾ гармонической составляющей сигнала $K_{I(n)}$, %	0,05 – 100	$\pm(0,2 + 0,008 \cdot (K_{I(n)max}/K_{I(n)} - 1))$ (Б)	$0,1 \cdot I_{ном} \leq I < 1,5 \cdot I_{ном}$
21 Фазовый угол между сигналами основной частоты (первыми гар- мониками) в каналах напряжения и тока φ_{UI}	от минус 180° до плюс 180°	$\pm 0,03^\circ$ (А)	$0,1 \cdot I_{ном} \leq I < 1,5 \cdot I_{ном}$ $0,7 \cdot U_{ном.ф.} \leq U < 1,4 \cdot U_{ном.ф.}$
22 Фазовый угол между n -ми ¹⁾ гармоническими состав- ляющими сигналов в каналах напряжения и тока $\varphi_{U(n)I}$	от минус 180° до плюс 180°	$\pm 0,1^\circ$ (А)	$0,1 \cdot I_{ном} \leq I < 1,5 \cdot I_{ном}$ $0,7 \cdot U_{ном.ф.} \leq U < 1,4 \cdot U_{ном.ф.}$ $0,2\% \leq K_{U(n)}$ $0,2\% \leq K_{U(n)}$
Характеристики мощности (фактивной мощности)			
23 Активная мощность P , Вт а) активная мощность по каждой фазе б) активная мощность по трем фазам	а) от 0,01 $I_{ном} \cdot U_{ном}$ до 1,5 $I_{ном} \cdot U_{ном}$ б) от 0,01 $I_{ном} \cdot U_{ном}$ до 4,5 $I_{ном} \cdot U_{ном}$	$\pm(0,1 + 0,02 \cdot (P_{ном}/P - 1))$ (Б)	$P_{ном} = I_{ном} \cdot U_{ном}$
24 Реактивная мощность Q , Вар а) реактивная мощность по каждой фазе; б) реактивная мощность по трем фазам	а) от 0,01 $I_{ном} \cdot U_{ном}$ до 1,5 $I_{ном} \cdot U_{ном}$ б) от 0,01 $I_{ном} \cdot U_{ном}$ до 4,5 $I_{ном} \cdot U_{ном}$	$\pm(0,1 + 0,02 \cdot (Q_{ном}/Q - 1))$ (Б)	$Q_{ном} = I_{ном} \cdot U_{ном}$
25 Полная мощность S , В·А а) полная мощность по каждой фазе; б) полная мощность по трем фазам	а) от 0,01 $I_{ном} \cdot U_{ном}$ до 1,5 $I_{ном} \cdot U_{ном}$ б) от 0,01 $I_{ном} \cdot U_{ном}$ до 4,5 $I_{ном} \cdot U_{ном}$	$\pm(0,1 + 0,02 \cdot (S_{ном}/S - 1))$ (Б)	$S_{ном} = I_{ном} \cdot U_{ном}$
¹⁾ n изменяется от 2 до 40; ²⁾ фазовый угол φ_n n -ой гармоники указан в угловых градусах данной гармоники, с началом отсчета, совпадающим с началом отсчета периода основной ($n = 1$) гармоники.			